



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

KOTLE NA TUHÁ PALIVA

SOLID FUEL BOILERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Krolák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Michal Krolák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kotle na tuhá paliva

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Provedení rešerše tuhých paliv vhodných pro vytápění rodinných domů
2. Popis technologií pro spalování tuhých paliv vhodných pro aplikace do 40 kW
3. Provedení ekonomického zhodnocení pořízení a provozování vybraných technologií pro vytápění rodinných domů.

Cíle bakalářské práce:

Student provede rešerši tuhých paliv vhodných pro vytápění rodinných domů. Dále provede průzkum trhu s kotli na tuhá paliva do výkonu 40 kW. V závěru práce student provede ekonomické zhodnocení jednotlivých paliv a kotlů.

Seznam literatury:

Quaschninh Volker: Obnovitelné zdroje energií. Praha, Grada 2010, ISBN: 978-80-247-3250-3

Jandačka, J., Mikulík, M.: Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. TU Žilina 2007, ISBN 978-80-969595-4-9

Jandačka, J. a kol.: Biomasa ako zdroj energie. Žilina 2008, ISBN 978-80-969161-3-9

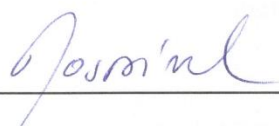
Malat'ák, J., Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, 2008, ISBN 978-80-213-1810-6

Baláš, M.: Kotle a výměníky tepla, Brno 2009, ISBN 978-80-214-3955-9

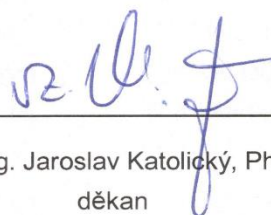
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 26. 11. 2015





doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Cieľom práce je vypracovať rešerš na tému problematiky kotlov na tuhé palivá. V prvej časti práce je popísaná problematika tuhých palív. Druhá časť práce sa zaoberá jednoduchým rozdelením kotlov na tuhé palivá pre domáce použitie do 40kW a vysvetľuje princíp spaľovania paliva. Posledná časť práce je venovaná ekonomickému zhodnoteniu vybraných kotlov.

Abstract

The main goal of thesis is to make a recherche about solid fuel boilers. First part of thesis describes solid fuels and their properties. Second part is engaged on division of boilers used in homes. This part also expose fundamentals of fuel burning. Last part of thesis is dedicated to economical account of selected boilers.

Klíčová slova

Kotol, tuhé palivo, biomasa, uhlie, pelety, drevo, štiepka.

Key words

Boilers, solid fuel, biomass, coal, pellets, wood, wood chip

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

KROLÁK, M. *Kotle na tuhá paliva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš, Ph.D..

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému: *Kotle na tuhá paliva* vypracoval samostatne. Všetky zdroje informácií, ktoré boli použité k vypracovaniu tejto práce sú uvedené v zozname použitých zdrojov.

V Brne dňa 22.5. 2016

.....

Michal Krolák

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Marekovi Balášovi, Ph.D. za účinnú pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.

Obsah

ÚVOD	11
1 TUHÉ PALIVÁ	12
1.1 Vlastnosti a zloženie tuhých palív	12
1.1.1 Hrubý rozbor	12
1.1.1.1 Voda v palive	13
1.1.1.2 Popolovina	13
1.1.1.3 Horľavina paliva	13
1.1.2 Spalné teplo	14
1.1.3 Výhrevnosť	14
1.2 Tuhé fosílné palivá.....	15
1.2.1 Antracit	15
1.2.2 Čierne uhlie	16
1.2.2.1 Koks	16
1.2.3 Hnedé uhlie.....	16
1.2.4 Rašelina	17
1.3 Biomasa	17
1.3.1 Zámerne pestovaná biomasa.....	18
1.3.2 Odpadová biomasa	19
1.3.3 Zušľachtovanie drevnej biomasy - dendromasy	19
1.3.3.1 Výroba štiepky	19
1.3.3.2 Výroba brikiet	20
1.3.3.3 Výroba peliet.....	20
1.3.4 Zušľachtovanie poľnohospodárskej biomasy – fytomasy	20
2 KOTLE NA TUHÉ PALIVÁ	22
2.1 Typy kotlov podľa technológie spaľovania	22
2.1.1 Prehorievacie kotle	22
2.1.2 Odhorievacie kotle.....	23
2.1.3 Splyňovacie kotle	24
2.1.4 Automatické kotle	25
2.2 Typy kotlov podľa druhu použitého paliva.....	26
2.2.1 Kotle na uhlie	26
2.2.2 Kotle na kusové drevo a brikety	27
2.2.3 Kotle na štiepku	28
2.2.4 Kotle na pelety.....	28
2.2.5 Kotle na balíky slamy	29
3 POROVNÁVACÍ VÝPOČET KOTLOV	30
3.1 Popis vybraných kotlov	30
3.1.1 Prehorievací kotol na uhlie Viadrus Hercules U26 ECO	30
3.1.2 Automatický kotol na uhlie Elektromet EKO-KWPns 20	31
3.1.3 Odhorievací kotol na drevo Viadrus Lignator	32
3.1.4 Splyňovací kotol na drevo Attack SLX 20 Profi.....	32
3.1.5 Automatický kotol na štiepku Benekov S16	33
3.1.6 Automatický kotol na pelety Attack Pellet 30.....	34
3.2 Výpočet ekonomických nákladov vybraných kotlov.....	35
3.2.1 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Viadrus Hercules U26 ECO	36
3.2.2 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Elektromet EKO-KWPns 20.....	36
3.2.3 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Viadrus Lignator	37
3.2.4 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Attack SLX 20 Profi.....	38
3.2.5 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Benekov S16	38

3.2.6	Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Attack Pellet 30	39
3.3	Grafické porovnanie ekonomických nákladov	39
ZÁVER		42
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY		43
ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV		47

ÚVOD

Pre vytvorenie tepelnej pohody v domácnostiach je potrebné zaistiť dostatočné množstvo tepelnej energie. Túto energiu je možné získať rôznymi spôsobmi, v súčasnosti hlavne spaľovaním. Ľudstvo už od nepamäti využívalo najdostupnejší zdroj – biomasu na zaistenie základných potrieb. Procesom horenia biomasy sa vytvára tepelná energia. Prvými zariadeniami na výrobu tepelnej energie boli otvorené ohniská. Neskôr sa začali používať jednoduché krby či pece. Postupný vývoj v tejto oblasti zaručoval dokonalejšie využitie tepelnej energie uvoľnenej z horenia. Časom sa začali využívať aj iné typy tuhých palív ako napríklad uhlie. V dnešnej dobe sa používajú na vykurovanie kotle s najmodernejšími technológiami, ktoré dokážu efektívne spaľovať rôzne druhy tuhých palív pri dodržaní prísnych emisných limitov.

Súčasná cena a postupný úbytok fosílnych palív nás núti, aby sme sa vracali k spaľovaniu lacnej a v princípe ekologickej biomasy. Biomasa sa považuje za obnoviteľný zdroj energie, pretože množstvo uvoľneného oxidu uhličitého pri spaľovaní je rovnaké ako pohltené množstvo pri raste. Pri spaľovaní sa uvoľňuje aj malé množstvo škodlivých emisií, to je ale dané spôsobom spaľovania, ktoré sa dá regulovať.

Cieľom tejto práce je znázorniť jednoduchý prehľad tuhých palív a ich vlastností. Popísať rozdelenie a princíp fungovania kotlov o výkonoch do 40kW. V záveru práce je popísané ekonomické zhodnotenie kotlov a palív.

1 TUHÉ PALIVÁ

Palivo je všeobecne označované ako chemická látka alebo zmes, ktorá má schopnosť udržať chemickú reakciu pri spaľovaní. Počas spaľovania dochádza k uvoľneniu a premene chemickej energie na tepelnú energiu, ktorá sa potom využíva na naše potreby (vykurovanie, varenie, kúpanie). Palivá predstavujú slnečnú energiu nahromadenú v pravekých dobách alebo dobách nedávnych. [1]

Základné požiadavky všeobecne kladené na palivo [1]:

- nízka cena, dostupnosť, bezpečná doprava, skladovateľnosť
- vytvorenie so vzduchom ideálne zápalnú zmes, ktorej spaľovaním sa za hospodársky a hygienicky prijateľných podmienok uvoľňuje teplo
- maximálny obsah aktívnych látok, ktoré horením uvoľňujú teplo
- minimálny obsah pasívnych látok alebo látok, ktoré spaľovanie sťažujú
- zanechanie čo najmenšieho množstva mechanicky alebo chemicky škodlivých látok po zhorení

Základné rozdelenie palív je podľa skupenstva:

- tuhé
- kvapalné
- plynné

1.1 Vlastnosti a zloženie tuhých palív

Zloženie paliva je jeho základná charakteristika, z ktorej sa určia ďalšie vlastnosti paliva. Zloženie tuhých palív sa určuje [2]:

- hrubým rozborom – pri ktorom sa stanoví pomerný obsah vody (W^r) a popolovín (A^r) a určí sa výhrevnosť paliva a prchavá a neprchavá horľavina
- elementárnym obsahom horľaviny – v ktorom sa navyše určujú pomerné obsahy prvkov horľaviny

1.1.1 Hrubý rozbor

Hrubý rozbor určuje pomer medzi horľavinou (h), popolovinou (A^r) a vodou (W^r) obsiahnutých v palive. Tieto 3 látky musia mať v súčte 100%. Platí, že:

$$h + A^r + W^r = 100\%$$

Primiešaná voda	Surové palivo		
	voda	Popoloviny Ar	Horľavina h
Príťaž (balast)		Prchavý podiel	Tuhý podiel
		Bezvodé uhlie (sušina)	
Spálením vznikne			
Vodná para	Tuhé zbytky – škvara, popolček		spaliny

Tab. 1: Hrubý rozbor tuhého paliva [2].

1.1.1.1 Voda v palive

Mnoho tuhých palív obsahuje vodu. Obsiahnutá voda je nežiadúca – znižuje výhrevnosť paliva, spôsobuje problémy s dopravou paliva a spaľovaním. Pri spaľovaní pohlcuje časť uvoľneného tepla a znižuje spaľovaciu teplotu. Vodná para v spalínach môže mať vplyv na rosný bod a následnú koróziu kotla zo strany spalín.

Voda je v palive viazaná niekoľkými spôsobmi [3]:

- primiešaná voda – dostáva sa do paliva pri ťažbe
- povrchová voda – voda zachytená na povrchu zŕn paliva
- kapilárne viazaná voda – je obsiahnutá v kapilárach paliva, zostáva po odstránení hrubej vody
- chemicky viazaná voda – uvoľní sa až pri spaľovaní
- hrubá voda – súčasť paliva, odstrániteľná voľným sušením
- voľná voda – súčet povrchovej, primiešanej a hrubej vody
- všetka voda – celkový obsah povrchovej, hrubej a zvyškovej vody.

Obsah vody je v energetike určený relatívnou vlhkosťou, ktorá je daná vzťahom:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 [\%], \text{ kde}$$

m_1 [kg] je hmotnosť vzorky surového paliva,

m_2 [kg] je hmotnosť vzorky paliva po vysušení.

1.1.1.2 Popolovina

Ide o minerálne látky (kremičitany, uhličitany, sírany, atď.) obsiahnuté v tuhom palive pred jeho spálením. Spálením vzniká z popoloviny tuhý zvyšok – popol. Ďalším zdrojom popola môžu byť nečistoty primiešané behom ťažby, doprave alebo skladovaní. [2]

Popol môže byť v podobe trosky, škvary alebo popolčeka. Forma popola závisí na podmienkach spaľovacieho procesu, preto sú dôležité charakteristické teploty popola, ktoré určujú spávanie popola pri rôznych teplotách.

Popol spolu s vodou je v palive nežiadúca zložka nazývaná balast. Obsah popola v palive sa vypočíta zo vzťahu:

$$A = \frac{m_p}{m_d} [-], \text{ kde}$$

m_p [g] je hmotnosť popola,

m_d [g] je hmotnosť suchej vzorky.

1.1.1.3 Horľavina paliva

Horľavina je časť paliva, ktorá je nositeľom tepla uvoľneného spaľovaním. U tuhých a kvapalných palív pozostáva horľavina z piatich prvkov: uhlíka, síry, dusíka, vodíka a kyslíka. Uhlík, vodík a siera sú aktívne prvky horľaviny, pretože pri ich oxidácii sa uvoľňuje teplo.

Horľavina sa rozlišuje na prchavú a neprchavú. Prchavá horľavina sa uvoľňuje na začiatku spaľovania pri teplotách nad 250 °C a podstatne napomáha vznieteniu paliva v ohnisku a stabilizuje spaľovací proces. Zvyšková časť horľaviny je neprchavý zvyšok v podobe tuhého uhlíka. [2]

1.1.2 Spalné teplo

Spalné teplo Q_s ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) je teplo uvoľnené dokonalým spálením 1 kg paliva pri ochladení spalín na 20°C , pričom voda v spalínach skondenzuje, tzn. je v kvapalnej fáze. [2]

1.1.3 Výhrevnosť

Výhrevnosť Q_i^r ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) je teplo uvoľnené dokonalým spálením 1 kg paliva pri ochladení spalín na 20°C , pričom voda v spalínach zostane v plynnej fáze.

Výhrevnosť sa dá určiť pomocou niekoľkých empirických vzťahov, napríklad ako funkcia jednotlivých prvkov paliva alebo pomocou nameraného spalného tepla [2]:

$$Q_i^r = Q_s - 2,453 \cdot (W + 9 \cdot H_2) [\text{MJ/kg}], \text{ kde}$$

Q_s [kJ/kg] je namerané spalné teplo,

W^r [-] je obsah vody v palive,

H_2 [-] je obsah vodíka v surovom palive.

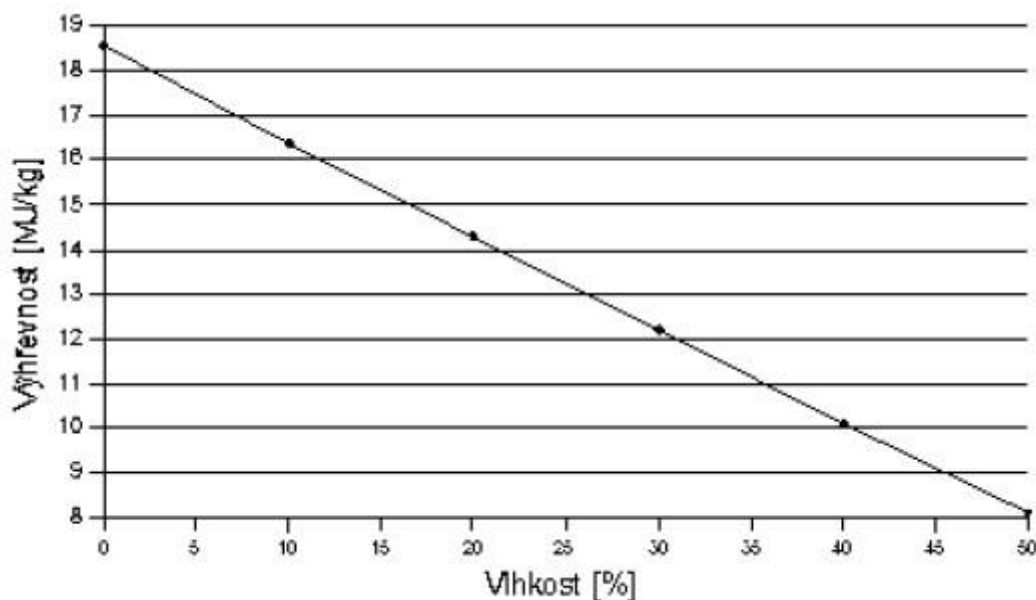
V praxi dochádza často k spaľovaniu zmesi rôznych palív, výhrevnosť je potom možné určiť pomocou vzorca [2]:

$$Q_i^r = Q_{i_1}^r \cdot m_1 + Q_{i_2}^r \cdot m_2 + \dots + Q_{i_n}^r \cdot m_n, \text{ kde}$$

$Q_{i_n}^r$ [kJ/kg] je výhrevnosť jednotlivého paliva,

m_n [kg] je hmotnostný podiel paliva.

Výhrevnosť aj spalné teplo veľmi závisí na obsahu vody v palive. Z priloženého obrázku vyplýva, že s narastajúcou vlhkosťou klesá výhrevnosť.



Obr. 1 Graf závislosti výhrevnosti biomasy na vlhkosti [4]

Druh paliva	Obsah vody	Výhrevnosť	[kg/m ³]=[kg/plm]	[kg/prm]	[kg/prms]
	[%]	[MJ/kg]			
Drevo obecne	20	14,23	670	469	275
Listnaté drevo	15	14,605	678	475	278
Listnaté drevo	50	7,585	1130	791	463
Ihličnaté drevo	15	15,584	486	340	199
Ihličnaté drevo	50	8,161	810	567	332
Polená (mäkké drevo)	20	14,28		400	
Polená (mäkké drevo)	50	8,1		530	
Drevná štiepka	10	16,4			170
Drevná štiepka	30	12,18			210
Slama obilnín	10	15,49		120	(balíky)
Slama kukurice	10	14,4		100	(balíky)
Koks		27,5			
Čierne uhlie		25,1			
Hnedé uhlie		15,1			

Tab. 2 Porovnanie výhrevnosti rôznych tuhých palív [5].

1.2 Tuhé fosílné palivá

Tuhé fosílné palivá sú pozostatkami pravekých usadenín z odumretých tiel organizmov a rastlín z dôb prvohôr až treťohôr. Vznikali pri nízkych hladinách kyslíka, čo zabránilo ich rozkladu a uschovalo sa značné množstvo uhlíka. Popri zemnom plyne a rope sa využívajú okrem iného aj na výrobu tepla a elektrickej energie. Táto skupina palív sa radí medzi neobnoviteľné a vyčerpatel'né zdroje. Napriek tomu sa hojne využívajú dodnes, prevažne vďaka ľahkej dostupnosti a vysokému energetickému potenciálu.

Tuhé fosílné palivá delíme podľa doby ich vzniku na (zoradené zostupne od najstaršieho):

- antracit
- čierne uhlie
- hnedé uhlie
- rašelina

1.2.1 Antracit

Antracit je druh čierneho uhlia, ktoré sa vyznačuje najnižším obsahom prchavých horľavých látok, vysokým obsahom uhlíka a najvyššou výhrevnosťou spomedzi všetkých druhov uhlia, až 37 MJ/kg. Je to čierne uhlie, ktoré bolo v dobe svojho vzniku vystavené veľkému tlaku a teplu. Používa sa k vykurovaniu, k výrobe vápna a v chemickom priemysle. Je ťažší než koks a vzhľadom k tejto vlastnosti zaberá pri skladovaní podstatne menej miesta pri väčšej akumulácii energie v ňom obsiahnutej. Je stáložiarny, a vďaka minimálnemu obsahu prchavých látok menej dymí a netvorí decht. Vyskytuje sa nerovnomerne v hlbinných úložiskách spoločne s čiernym uhlím. Významnými producentmi antracitu sú Rusko a Ukrajina. [6]



Obr. 2 Antracit [7]



Obr. 3 Čierne uhlie [18]

1.2.2 Čierne uhlie

Čierne uhlie patrí medzi jedno z najdôležitejších fosílnych palív, ktoré sa využívalo už v minulosti. Na rozdiel od hnedého uhlia sa čierne uhlie ťaží v podzemí. V dnešnej dobe je jedným z hlavných surovín pri výrobe elektrickej energie (výhrevnosť 23 – 28 MJ/kg) a môže byť zušľachtený na koks. Celosvetové zásoby sa odhadujú na 200-300 rokov.

Najväčšie zásoby čierneho uhlia na svete sa delia medzi USA, Indiu, Čínu, Rusko a Juhoafrickú republiku. Čína patrí medzi najväčších spotrebiteľov, naopak najväčším vývozcom čierneho uhlia je Austrália. [8]

1.2.2.1 Koks

Koks vzniká pyrolýzou čierneho uhlia pri vysokej teplote nad 1000° C, bez prístupu vzduchu. Pre výrobu koksu sa používa čierne uhlie, pokiaľ možno s nízkym obsahom síry a vhodnými vlastnosťami pre termické spracovanie. Vedľajšími produktmi koksárenského procesu sú: čpavok, surový decht, benzol, koksárenský plyn a síra. Koks vzniká aj prirodzeným spôsobom, hlavne tam, kde uhľové sloje prišli do kontaktu s roztavenou magmou.

Používa sa ako palivo a ako redukčné činidlo vo vysokej peci pri výrobe surového železa. Koks z uhlia je strieborne šedý, tvrdý a pórovitý. Jeho výhrevnosť je v závislosti od typu 25 – 30 MJ/kg. [9]

1.2.3 Hnedé uhlie

Hnedé uhlie je mladšie ako čierne uhlie, z toho vyplýva jeho nižšia výhrevnosť (od 13 - 23 MJ/kg). Okrem uhlíka obsahuje aj veľké množstvo prímiesí, hlavne popolovinu, síru a vodu. Hnedé uhlie vzniklo z ložísk rašeliny. Podľa stupňa preuhoľnatenia sa delí na mäkké (lignit) a tvrdé hnedé uhlie. Výhodou oproti čiernemu uhliu je ľahšia dostupnosť – častokrát sa nachádza tesne pod povrchom, takže sa dá ťažiť povrchovo.



Obr. 4 Hnedé uhlie [19]



Obr. 5 Rašelina [20]

1.2.4 Rašelina

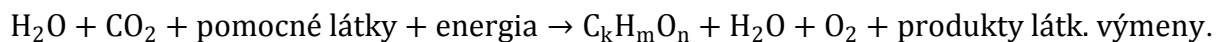
Rašelina sa dá definovať ako nahromadený rastlinný materiál. Vzniká v bažinatých oblastiach, v kyslom prostredí s obmedzeným prístupom kyslíka. Jedná sa o najmladší typ tuhého fosílného paliva. Výhrevnosť závisí od množstva vlhkosti, pri 25% je to 14 – 16 MJ/kg. Rašelina obsahuje viac ako 50% horľavých zložiek, dá sa využiť aj ako menej hodnotné palivo na výrobu tepla a elektrickej energie. Významnejšie sa ťaží vo Fínsku alebo Írsku.

1.3 Biomasa

Biomasa je hmota organického pôvodu obsahujúca biologicky rozložiteľné frakcie výrobkov, odpadu a zvyškov z poľnohospodárstva, lesníctva a príbuzných odvetví, ako aj biologicky rozložiteľné frakcie priemyselného a komunálneho odpadu. [10]

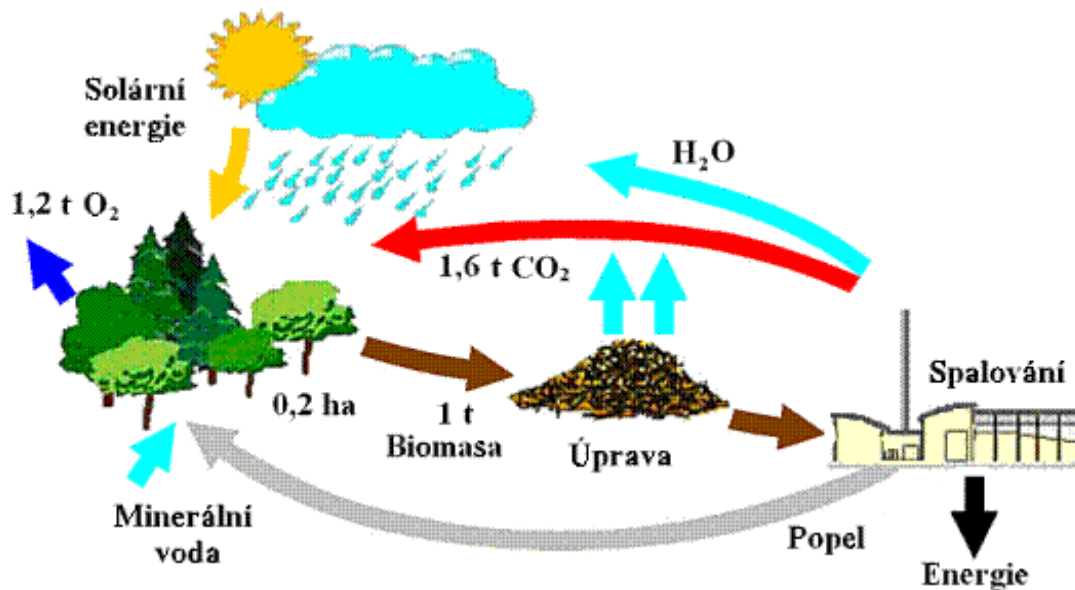
Biomasa sa považuje za obnoviteľný zdroj energie, pretože pri jej vzniku sa spotrebuje rovnaké množstvo oxidu uhličitého ako pri jej zániku, resp. spaľovaní. Zdroje biomasy sú na Zemi rozmiestnené veľmi nerovnomerne. K jej vzniku je okrem slnečnej energie a oxidu uhličitého pre biomasu zásadná aj voda.

Fotosyntéza v rastlinách mení oxid uhličitý (CO_2), vodu (H_2O) a pomocné látky – nerasty, na biomasu ($\text{C}_k\text{H}_m\text{O}_n$) a kyslík (O_2) [11]:



Pri kyslíkovej fotosyntéze vzniká napr. glukóza $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$:





Obr. 6 Obeh uhlíka v přírode [21]

Biomasa sa dá rozdeliť podľa niekoľkých kritérií [10]:

a) podľa zdroja vzniku:

- lesná (dendromasa - vetvy, pne, piliny, kôra)
- poľnohospodárska:
 - fytomasa (slama, obilie)
 - zoomasa - živočíšna biomasa (exkrementy, odpady)
- komunálne a priemyselné odpady

b) podľa energetického využitia:

- zámerne pestovaná biomasa
 - rýchlorastúce dreviny
 - energetické rastliny
- odpadová biomasa
 - drevo a drevný odpad z lesného hospodárstva
 - rastlinné odpady z poľnohospodárskej výroby

Z hľadiska využitia biomasy ako paliva do kotlov je dôležité rozdelenie podľa energetického využitia.

1.3.1 Zámerne pestovaná biomasa

Zámerne pestovanou biomasou sa rozumie hlavne biomasa určená na priame energetické použitie. V prípade rýchlorastúcich drevín sa využíva hlavne topol', jelša, vŕba.

Zámerne pestovaná biomasa musí spĺňať požiadavky ako [12]:

- dobrá účinnosť premeny CO₂ na biomasu pomocou slnečného žiarenia
- veľký obsah sušiny v dobe zberu
- vysoká výhrevnosť a nízky obsah popola
- nenáročnosť na vodu a živiny
- odolnosť proti chorobám a škodcom

1.3.2 Odpadová biomasa

Jedná sa o už využitú biomasu, ktorá primárne slúžila k iným účelom, ako je získanie energie. Patria sem [12]:

- rastlinné odpady z poľnohospodárskej výroby
- odpady z údržby krajiny alebo sádov a trávnatých plôch
- odpady po ťažbe dreva
- odpady z drevospracujúceho priemyslu
- odpady z potravinárskych výrob
- odpady zo živočíšnej výroby
- komunálne organické odpady

1.3.3 Zušľachtovanie drevnej biomasy - dendromasy

Drevnú biomasu využívanú na výrobu tepelnej alebo elektrickej energie môžeme využívať buď priamo v neupravenej forme alebo v upravenej tzv. zušľachtenej forme. Často sa používa kusové palivové drevo, ktoré sa upraví na požadovanú veľkosť za použitia techniky (reťazová píla, štiepač dreva). Menšie vetvy alebo drevný odpad sa spracováva štiepkovaním, výrobou brikiet alebo peliet.

1.3.3.1 Výroba štiepky

Drevná štieпка dosahuje vlastností palivového dreva. Jej dĺžka sa pohybuje v rozmedzí 5 až 50 mm (v smere vlákien), šírka je od 5 do 30 mm a hrúbka od 5 do 15 mm.



Obr. 7 Drevná štieпка [14]

Štiepkovače sú strojné zariadenia, ktoré rezným účinkom sekacích nožov dokážu beztrieskovo oddeľovať drevo o požadovanej hrúbke a dĺžke. Štiepkovače sa vyskytujú v rôznych konštrukčných vyhotoveniach. Môžu byť stacionárne alebo mobilné, a to buď pripojiteľné za iný energetický zdroj alebo samopojazdné, s mechanickým podávacím zariadením alebo s ručným dávkovaním. Podľa pracovného nástroja sa štiepkovače rozdeľujú na diskové, bubnové a skrutkovnicové. [13]



Obr. 8 Štiepkovač pri práci [15]

1.3.3.2 Výroba brikiet

Brikety sa vyrábajú lisovaním drevných odpadov o vhodnej zrnitosti a vlhkosti (piliny, hobliny) v briketovacom lise pri vysokom tlaku (32 MPa) a teplote. Lisovaním sa dosahuje vysoká hustota (1200 kg/m^3), čím sa výrazne znižuje objem paliva a zároveň sa dosahuje vysoká výhrevnosť (19 MJ/kg). Brikety sa vyznačujú nízkym obsahom síry (0,07 %), malým množstvom popola (0,5 %), ktorý je možné využiť ako minerálne hnojivo, neobmedzenou skladovateľnosťou, bezprašnosťou, ľahkou manipuláciou a rôznorodosťou vyrábaných tvarov. [13]

1.3.3.3 Výroba peliet

Pelety sú biopalivom, ktoré umožňuje kotlom pre ich spaľovanie čiastočnú alebo celoautomatickú prevádzku. Peleta je granula kruhového prierezu s priemerom 6 až 8 mm, s nízkym obsahom vlhkosti (8 až 10 %) a výhrevnosťou od 17 do 18 MJ/kg. Vyrábajú sa lisovaním pilín bez chemických prísad. [13]



Obr. 9 Brikety [16]



Obr. 10 Pelety [17]

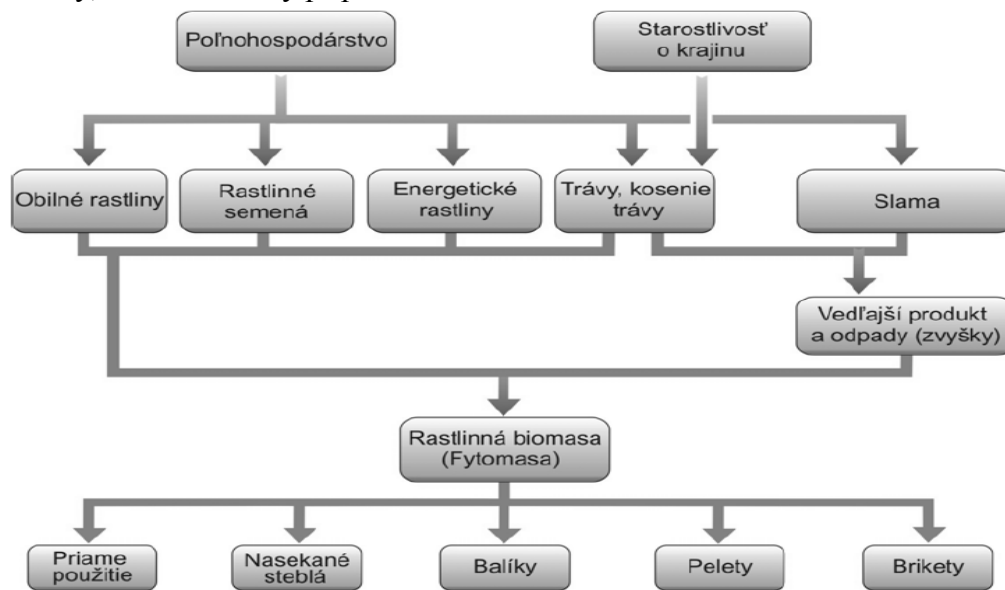
1.3.4 Zušľacht'ovanie poľnohospodárskej biomasy – fytomasy

Poľnohospodárska biomasa sa delí do troch základných skupín [13]:

- biomasa vhodná na spaľovanie:
 - slama (obilná, repková, kukuričná, slnečnicová)

- drevený odpad (z vinohradov a sádov)
- biomasa vhodná na výrobu bioplynu:
 - exkrementy hospodárskych zvierat
 - zelená hmota
 - odpad z potravinárskych prevádzok
- biomasa vhodná na výrobu kvapalných biopalív ako:
 - metylester repkového oleja
 - bioetanol

Biomasu z energetických rastlín produkovaných na výrobu tepelnej, resp. elektrickej energie je možné využívať buď priamo v neupravenej forme alebo v upravenej forme ako sú pelety, brikety, stlačené balíky prípadne sečka.



Obr. 11 Zdroje a formy rastlinnej biomasy [13]

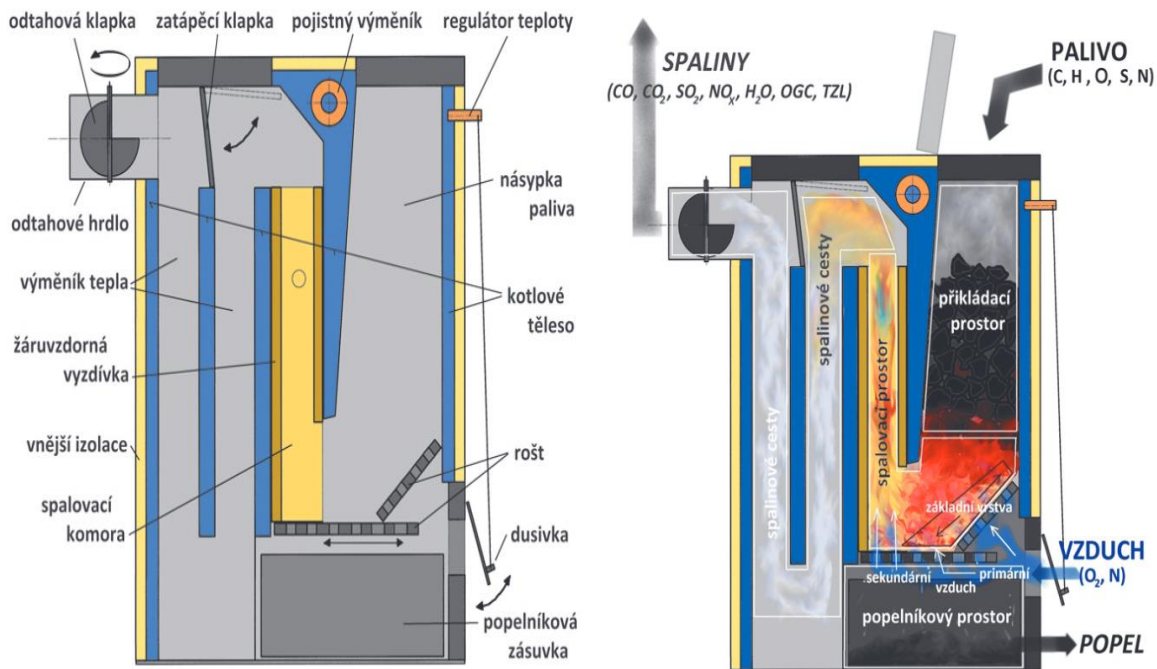
Pelety zo stebiel sú vhodným palivom pre automatické kotly s tepelným výkonom nad 25 kW. Surovinou na výrobu sú suché, drvené stebľa (slama olejní, travín, energetických rastlín a odpady z čističiek obilnín), s obsahom vody 8 až 15 %, ktoré sú pod veľkým tlakom zlisované do tvaru valčekov. Výhrevnosť u slamy olejní dosahuje až 19 MJ/kg. Obsah popola je 5 až 6 %.

Brikety zo stebiel sa vyrábajú zo suchých drvených alebo nakrátko narezaných stebiel slamy obilnín, olejní, tráv a energetických rastlín s obsahom vody 8 až 14 %. Výhrevnosť sa pohybuje okolo 16,5 MJ/kg. Obsah popola je 5 až 6 %.

Balíky slamy sú vhodné na priame spaľovanie a následnú výrobu tepla. Slama je zlisovaná vo forme kvádrov alebo valcov pod rôznym tlakom, ktoré ovplyvňujú výslednú hmotnosť. [13]

2 KOTLE NA TUHÉ PALIVÁ

Kotol je zariadenie, v ktorom dochádza k spaľovaniu paliva a uvoľňovaniu tepelnej energie obsiahnutej v palive. Uvoľnená tepelná energia ohrieva teplotnosné médium cez steny kotla. Teplotnosné médium môže byť následne akumulované v nádrži a potom rozvedené do vykurovacej siete. V prípade kotlov určených na vykurovanie rozlišujeme dva druhy teplotnosného média: vzduch a voda. Kotle, ktoré používajú ako teplotnosné médium vzduch sa nazývajú kotle teplovzdušné. Sú to generátory horúceho vzduchu, zväčša používané v rozmerných výrobných halách alebo dielnach. Kotle, ktoré používajú vodu ako teplotnosné médium sa nazývajú kotle teplovodné. Tieto kotle sa v drvivej väčšine používajú na vykurovanie domácností.



Obr. 12 Základné konštrukčné časti kotla [29]

2.1 Typy kotlov podľa technológie spaľovania

Podľa technológie spaľovania delíme kotle na:

- prehorievacie
- odhorievacie
- splyňovacie
- automatické

2.1.1 Prehorievacie kotle

Prehorievacie kotle predstavujú jednoduchý a lacný systém kotlov pre domácnosti, ktoré spaľujú tuhé palivá. U týchto kotlov prebieha spaľovanie v celej dávke paliva v rovnaký čas. Tieto kotle sú bežne vybavené prívodom primárneho vzduchu, ktorý je vedený skrz rošt a skrz celú dávku paliva. Sekundárny vzduch je privádzaný nad dávku paliva, kde prebieha druhé spaľovanie. Palivo je dávkováné cez horné dvierka a popol je odstraňovaný cez spodné dvierka. Kotol väčšinou využíva prirodzený ťah. Nevýhodou tohto typu kotlov je, že v prípade príliš vysokej dávky paliva nie je možné priestorovo oddeliť splyňovanie a oxidáciu, dôsledkom toho je nízka účinnosť a vysoké emisie. Emisie nespálených uhlíkovodíkov a CO môžu byť vyššie aj

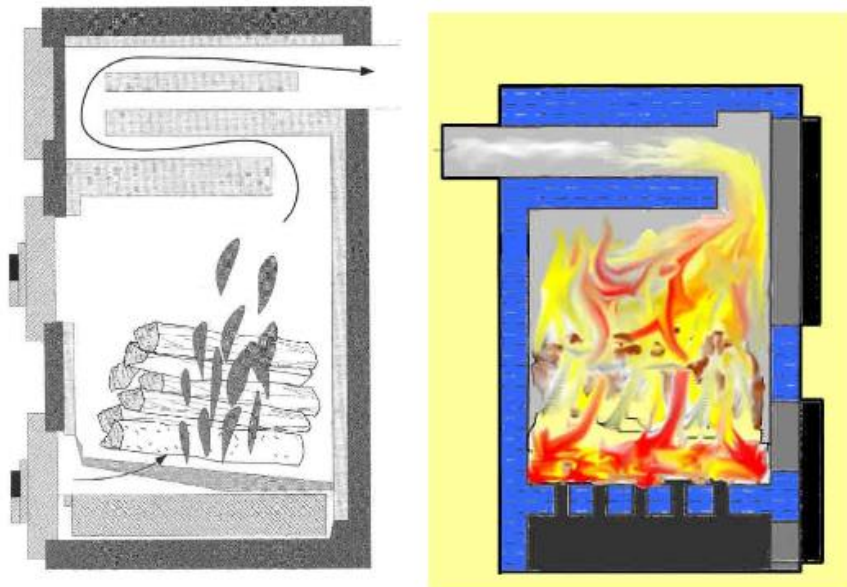
v prípade, že kotol pracuje s nízkou rýchlosťou spaľovania. Prehorievací kotol je vhodný pre palivá s malým obsahom prchavej horľaviny. Účinnosť sa pohybuje od 50 do 80 %. [22]

Výhody prehorievacích kotlov:

- možnosť spaľovať palivá s nízkym obsahom prchavej horľaviny (napr. koks, čierne uhlie)
- odolná a masívna liatinová konštrukcia pozostávajúca z článkových telies
- dlhá životnosť kotlového telesa

Nevýhody prehorievacích kotlov:

- obmedzená možnosť regulácie výkonu
- menšia účinnosť pri spaľovaní iného paliva (napr. drevo, hnedé uhlie)
- krátka doba horenia paliva - nutnosť častého prikladania paliva
- nízke emisné triedy



Obr. 13 Prehorievací kotol [24]

2.1.2 Odhorievacie kotle

U odhorievacích kotlov sú plameň a spaliny vedené spodkom ohniska, v tomto prípade je zahrievaná iba menšia časť paliva. Splyňovanie a konečné spaľovanie prebieha v oddelených komorách, ktoré zaisťujú viac stabilné spaľovanie. Popol prepadáva skrz rošt do popolníka.

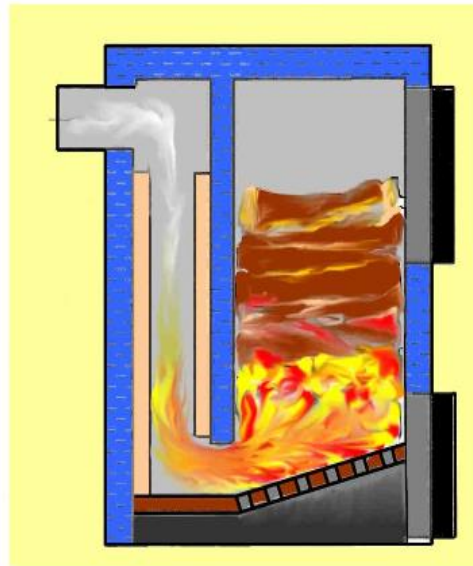
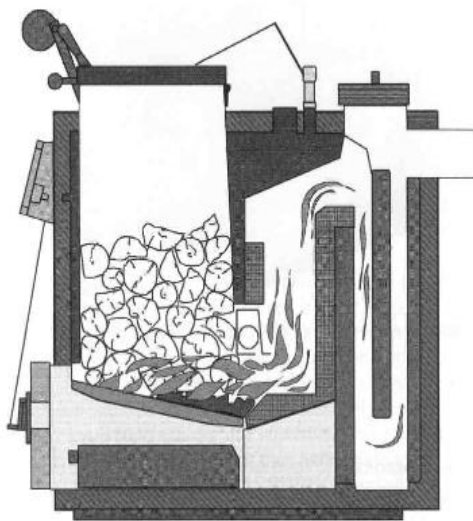
Najčastejším palivom, používaným v týchto kotloch je kusové drevo a uhlie. V niektorých prípadoch sa používajú drevené alebo rašelinové brikety. Bežne je v odhorievacích kotloch využívaný prirodzený ťah, ale niektoré kotle sú vybavené ventilátorom pre odvod spalín. Spaľovanie v odhorievacích kotloch je stabilnejší proces ako u prehorievacích kotlov, preto produkujú menej emisií. Účinnosť sa pohybuje od 50 do 80 %. [22]

Výhody odhorievacích kotlov:

- veľká palivová šachta – dlhšia doba horenia
- dobrá regulácia kotla
- lepšie emisie ako prehorievacie kotle

Nevýhody odhorievacích kotlov:

- občasné zaklinovanie paliva v šachte
- zložitejšie ovládanie kotla



Obr. 14 Odhorievací kotol [24]

2.1.3 Splyňovacie kotle

Splyňovacie kotle sú jedným z najviac účinných kotlov, ktoré sú dnes komerčne dostupné. Účinnosť splyňovacích kotlov je okolo 70 až 90 %. Výhodou týchto kotlov vzhľadom k takejto vysokej účinnosti je úspora paliva a prevádzkových nákladov a taktiež menšia produkcia emisií.

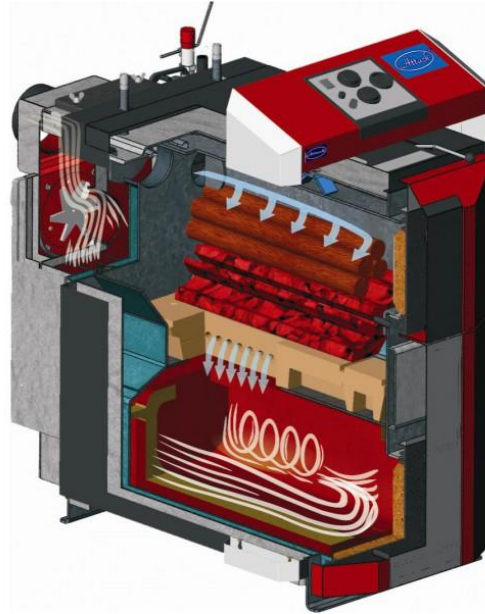
Pri splyňovaní dochádza k tepelnému rozkladu pevného uhlíku obsiahnutého v palive v inej časti zariadenia než kde dochádza k vlastnému spaľovaniu vzniknutého plynu. Do hornej komory, ktorá je zároveň aj zásobníkom paliva je privádzaný vzduch ktorého množstvo je podstechiometrické. V tejto časti horí predovšetkým uhlík na oxid uhoľnatý. Pritom dochádza k uvoľneniu ďalších horľavých plynov z termického rozpadu dreva. Vzniknuté spaliny a plyn sú vedené do spaľovacej komory, kde sa privádza sekundárny vzduch – tu zhorí vzniknutý oxid uhoľnatý a ďalšie horľavé plyny. Vzniknutými spalinami sa ohrieva voda. Výhodou splyňovania je vysoká účinnosť využitia energie v palive a nižšie škodlivé emisie, pretože plynné palivo sa spaľuje lepšie ako pevné. [23]

Výhody splyňovacích kotlov:

- vysoká účinnosť
- automatická regulácia
- dlhšia doba horenia (závisí od veľkosti splyňovacej komory, v ktorej je palivo)
- vysoká emisná trieda

Nevýhody splyňovacích kotlov:

- nižšia životnosť kotlového telesa vyrobeného z plechu
- dechtovanie kotla pri použití vlhkého paliva
- vysoká účinnosť len pri menovitom výkone
- vyššia cena



Obr. 15 Splyňovací kotol [25]

2.1.4 Automatické kotle

Moderné kotle na spaľovanie pevných palív používajú systém kontinuálneho prívodu paliva do ohniska. Vo väčšine prípadoch sa jedná o dopravu pomocou závitovkových dopravníkov a pomocou otočného valcového roštu. Tieto kotle zaisťujú stabilitu spaľovania a výkonu, vysokú účinnosť spaľovania, nízku produkciu emisií a užívateľský komfort. [26]

Automatické kotle na pevné palivá môžu využívať niekoľko typov spaľovania, ako napr. spaľovanie na rošte, splyňovanie alebo použitie špeciálnych horákov. Tieto kotle sa vyznačujú tým, že sú schopné riadiť spaľovanie a aj prívod paliva, ktorý je zaistený kontinuálne alebo stupňovite. Používajú sa rôzne typy konštrukcií, napr. [22]:

- ohnisko so spodným prívodom paliva
- ohnisko s priečnym prívodom paliva
- ohnisko so zhadzovaním paliva
- ohnisko pre spaľovanie rastlinnej biomasy
- ohnisko s otočným valcovým roštom

Výhody automatických kotlov:

- komfort používania
- automatická regulácia
- vysoká účinnosť
- vysoké emisné triedy

Nevýhody automatických kotlov:

- vyššia cena paliva
- vysoká investičná cena kotla
- zaistenie potrebnej kvality paliva



Obr. 16 Automatický kotol na pelety [27]

2.2 Typy kotlov podľa druhu použitého paliva

Podľa druhu paliva delíme kotle na:

- kotle na uhlie
- kotle na kusové drevo
- kotle na štiepku
- kotle na pelety
- kotle na balíky slamy

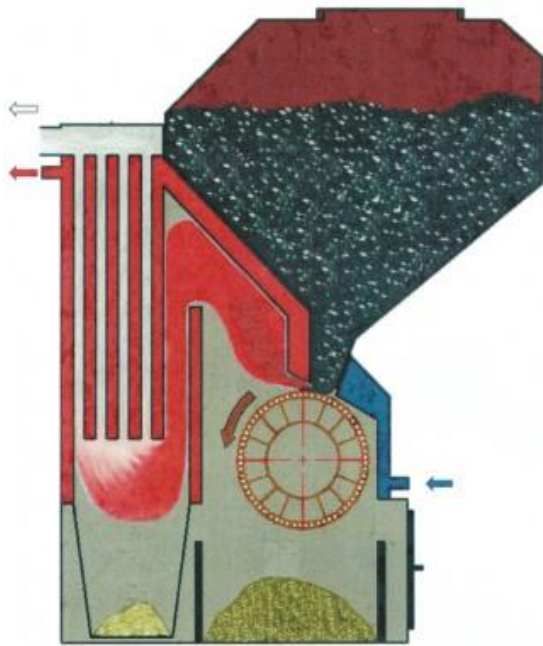
2.2.1 Kotle na uhlie

Kotle na spaľovanie uhlia boli v minulosti využívané vo väčšine domácností a takmer všetkých kotolniach alebo teplárnach. Kotle menších výkonov na spaľovanie uhlia sa v mnohom podobajú kotlom na spaľovanie dreva. Hlavný rozdiel medzi kotlom na uhlie od kotla na drevo v prívode spaľovacieho vzduchu. Uhlie horí lepšie, ak je spaľovací vzduch privádzaný zospodu. Nevýhodou oproti kotlu na drevo je, že z uhlia vzniká viac popola a tak je nutné častejšie čistenie kotla.

Niektoré kotle majú termostatom riadený regulátor, ktorý nastavuje prívod spaľovacieho vzduchu. Modernejšie kotle majú ventilátor, za pomoci ktorého sa dosiahne optimálne požadované množstvo spaľovacieho vzduchu, prípadne sú plne automatizované s prikladaním paliva. Účinnosť týchto kotlov potom dosahuje až 85 %. [22]

V prípade automatických kotlov na uhlie je možné rozdelenie podľa typu horáku na:

- kotle s bubnovým horákom – uhlie z násypky sa posúva vlastnou váhou na závitkový dopravník, za pomoci ktorého sa uhlie presunie k horáku
- kotle s retortovým horákom – uhlie z násypky sa k horáku dopravuje pomocou otočného bubnového roštu



Obr. 19 Bubnový horák [30]



Obr. 20 Retortový horák [31]

2.2.2 Kotle na kusové drevo a brikety

Jedná sa o kotle s manuálnym prikladaním paliva, s výkonom od 12 kW. Sú určené pre vykurovanie a ohrev teplej úžitkovej vody. Z konštrukčného hľadiska sa používajú prehorievacie, odhorievacie aj splyňovacie kotle. Vo väčšine prípadov sa používajú prehorievacie kotle, tie sú však kvôli prísnyh emisným limitom postupne vytláčané z trhu a nahradzované splyňovacími. Účinnosť spaľovania závisí od použitej technológie od 80 do 92%. Výhodou týchto kotlov sú nízke nároky na úpravu paliva. Kvôli horšej regulácii týchto kotlov sa odporúča zahrnúť do systému vykurovania aj akumuláciu nádrž, ktorá uskladní uvoľnené teplo do vody. Akumulačná nádrž zvýši účinnosť systému a zníži objem emisií.



Obr. 17 Kotol na drevo [35]

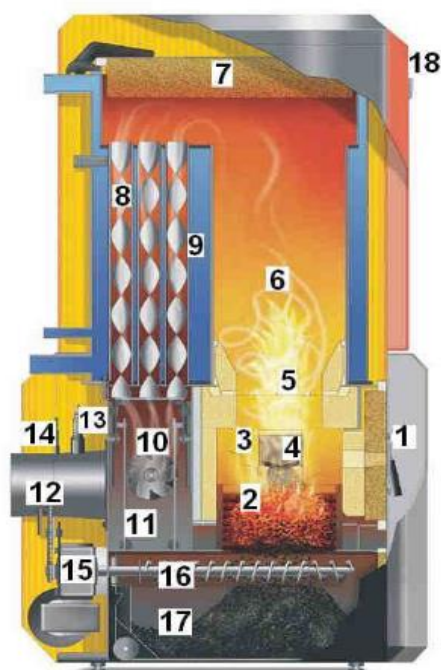


Obr. 18 Kotol s akum. nádržou [36]

2.2.3 Kotle na štiepku

Kotle na štiepku sú určené na vykurovanie a ohrev teplej úžitkovej vody. Väčšinou sú plne automatizované. Menšie kotle začínajú na výkone od 20 kW a sú určené pre rodinné domy. Veľké kotle sú schopné výkonu od stovák kW do niekoľko MW, jedná sa však už o veľké energetické celky, s možnosťou kombinovanej výroby elektrickej energie a tepla.

Pokročilé technológie riešia problémy s rôznorodou vlhkosťou drevnej štiepky. Konštrukcia a výroba kotlov musí byť dômyselná a robustná, to ale vedie k vysokým investičným nákladom, ale taktiež ku kvalite kotla. Priestorové nároky u tohto typu kotla sú vyššie, pretože je nutné vybudovať zásobník paliva. Štiepka sa dopravuje automaticky závitkovým dopravníkom do spaľovacieho priestoru, kde postupne horí. K zaisteniu správneho horenia rôzne vlhkej štiepky prispieva ventilátor. Kotle sú vybavené poloautomatickým čistením výmenníka. Priemerná účinnosť sa pohybuje medzi 80 a 90 %, závisí od kvality paliva. [22]



- 1 Dvierka do ohniska
- 2 Stupňový rošt – primárny vzduch
- 3 Spaľovacia komora
- 4 Ukazovateľ naplnenia
- 5 Vírivá tryska – sekundárny vzduch
- 6 Reakčná trubka
- 7 Čistiace veko
- 8 Virbulátory
- 9 Trubkový výmenník tepla
- 10 Odtáhový ventilátor
- 11 Čistenie výmenníka tepla
- 12 Dymovod
- 13 Lambda sonda
- 14 Dymové čidlo
- 15 Pohon čistenia roštu
- 16 Popolníkový závitkový dopravník
- 17 Pojazdný popolník
- 18 Regulácia

Obr. 21 Automatický kotol na štiepku – rez a popis kotla [28]

2.2.4 Kotle na pelety

Kotle na pelety sú plne automatizované kotle. Existujú dva druhy týchto kotlov. V prvom prípade ide o kotol spaľujúci iba pelety, v druhom prípade o kotol, ktorý dokáže striedavo spaľovať kusové drevo alebo pelety. V tomto prípade je nutná inštalácia peletového horáku.

Pelety sú odoberané podľa potreby závitkovým dopravníkom zo zásobníka. Objem zásobníka je dimenzovaný tak, aby kotol mohol byť v nepretržitej prevádzke niekoľko dní. Zo zásobníka sú pelety dopravené na peletový horák, inštalovaný v kotlovom telese. Pracovný cyklus kotla prebieha nasledovne: Automatická regulácia pri požiadavke na dodanie tepla dá pokyn k zažehnutiu horáku. Po zapálení horáku prebieha spaľovanie peliet, potrebné množstvo je dopravované dopravníkom. Ak už nie je dodávka tepla nutná, regulácia zastaví dopravník a nechá pelety dohorieť. Činnosť kotla je kontrolovaná prostredníctvom termostatu. Vzduch je dodaný pomocou ventilátora, ktorý zaisťuje prívod primárneho aj sekundárneho vzduchu.

Zariadenie má minimálne požiadavky na obsluhu. Kapacita popolníka sa líši podľa typu kotla, častokrát sa čistenie robí až po dvoch mesiacoch prevádzky. [22]



Obr. 22 Automatický kotol na pelety [34]

Výhodou týchto kotlov je plne automatizovaná prevádzka a vysoký komfort používania. Nevýhodou sa môže javiť cena peliet, ktorá je 4x vyššia ako u kusového dreva.

2.2.5 Kotle na balíky slamy

Kotle na balíky slamy sú zväčša plne automatizované kotle o vyššom výkone (100 – 1000 kW), vhodné na zásobovanie tepla väčších objektov. V týchto kotloch je možné spaľovať aj rozmerovo väčšie kusové drevo. Teplovodné kotle pozostávajú z predkomory, v ktorej je umiestnený balík slamy, vlastnej spaľovacej komory a spalínového kanálu so žiarotrubnatým výmenníkom. Obe komory sú chladené vodou. Posuvný rošt presúva slamu v spaľovacej komore, ktorá postupne prehorieva. Na konci roštu je odvod pre popol. Tieto kotle sa pre vykurovanie menších objektov a domácností nepoužívajú, kvôli nízkej účinnosti pri nízkom výkone. V rozdelení kotlov podľa použitého paliva sú tieto kotle uvedené len pre úplnosť.

Podľa typu balíkov rozdelíme kotle na:

- kotle na valcové balíky slamy
- kotle na kvádrové balíky slamy



Obr. 23 Kotel na valcové balíky [32]



Obr. 24 Kotel na kvádrové balíky [33]

3 POROVNÁVACÍ VÝPOČET KOTLOV

V tejto časti práce bude spracované ekonomické zhodnotenie investičných a prevádzkových nákladov vybraných technológií pre vykurovanie rodinných domov. Do porovnania budú vybrané kotle podobného výkonu na spaľovanie rôznych tuhých palív a rôznou technológiou spaľovania. Vybrané kotle reprezentujú súčasný trh a trendy v segmente vykurovania.

3.1 Popis vybraných kotlov

K porovnávaciemu výpočtu sú vybrané kotle:

- prehorievací kotel na koks Viadrus Hercules U26 ECO
- automatický kotel na uhlie Elektromet EKO-KWPns 20
- odhorievací kotel na drevo Viadrus Lignator
- splyňovací kotel na drevo Attack SLX 20 Profi
- automatický kotel na štiepku Benekov S16
- automatický kotel na pelety Attack PELLET 30

3.1.1 Prehorievací kotel na uhlie Viadrus Hercules U26 ECO

Liatinový prehorievací kotel Viadrus Hercules U26 ECO je určený k ekologickému spaľovaniu tuhého paliva – koksu. Kotel sa vyrába vo výkonovej rade 15 až 50 kW. 5 článkový kotel dosahuje výkon 22,5 kW. Kotlové teleso je tvorené liatinovými článkami a zahrňuje aj vodou chladené pevné rošty. Kotel je možné použiť pre systémy so samotiažnym aj núteným obehom vykurovacej vody. Účinnosť kotla dosahuje až 84,1 %. Kotel splňuje emisnú triedu 3 podľa ČSN EN 303-5. [37]

Výkon	$P_1 = 22,5 \text{ kW}$
Účinnosť	$\eta_1 = 84,1 \%$
Počet článkov	5
Spotreba paliva	$Sp_1 = 3,5 \text{ kg/hod}$
Cena kotla	1035 € [37]

Tab. 3 Charakteristika kotla Viadrus Hercules U26 ECO.



Obr. 25 Kotel na uhlie Viadrus Hercules U26 ECO

Použitie palivo do tohto kotla bude koks s frakciou 20 - 40 mm, s výhrevnosťou $Q_1 = 28$ MJ/kg. Cena paliva je 230€ za tonu. [38]

3.1.2 Automatický kotel na uhlie Elektromet EKO-KWPns 20

Automatický kotel na uhlie Elektromet EKO-KWPns 20 je určený pre vykurovanie domácností. Spaľovacia komora s retortovým ohniskom dokáže spaľovať čierne aj hnedé uhlie s frakciou 5 až 21 mm. Kotel je vybavený zásobníkom na uhlie so skrutkovým podávačom. Automatická regulácia kotla riadi proces spaľovania, prívod vzduchu a posuv paliva. Rozsah výkonu je 5 až 20 kW, účinnosť spaľovania 86,3 %. [39]

Výkon	$P_2 = 20$ kW
Elek. príkon	$Pr_2 = 170$ W
Účinnosť	$\eta_2 = 86,3$ %
Spotreba paliva	$Sp_2 = 2,5$ kg/hod
Cena kotla	1681 € [39]

Tab. 4 Charakteristika kotla Elektromet EKO-KWPns 20.



Obr. 26 Automatický kotel na uhlie Elektromet EKO-KWPns 20 [39]

Použité palivo do tohto kotla bude čierne uhlie s frakciou 8 - 20 mm, s výhrevnosťou $Q_2 = 26 \text{ MJ/kg}$. Cena paliva je 155€ za tonu. [38]

3.1.3 Odhorievací kotol na drevo Viadrus Lignator

Odhorievací kotol na drevo Viadrus Lignator je moderný kotol určený na ekologické spaľovanie kusového dreva odhorievacím spôsobom. Kotol spĺňa najprísnejšie ekologické normy a zároveň dosahuje vynikajúcu účinnosť. Kotol je možné použiť len pre uzatvorené systémy s núteným obehom vykurovacej vody. Povinnou výbavou kotla určeného do uzavretých vykurovacích systémov je zabezpečovacie zariadenie proti prekúreniu. Výkon kotlov je od 13,5 do 34 kW. Pre výkon 22,5 kW je potrebný počet článkov sedem. Účinnosť spaľovania dosahuje 89,6 %. Kotol je vybavený liatinovým výmenníkom a vodou chladeným roštom. [40]

Výkon	$P_3 = 22,5 \text{ kW}$
Elek. príkon	$Pr_3 = 180 \text{ W}$
Počet článkov	7
Účinnosť	$\eta_3 = 89,4 \%$
Spotreba paliva	$Sp_3 = 6,04 \text{ kg/hod}$
Cena kotla	2495 € [40]

Tab. 5 Charakteristika kotla Viadrus Lignator



Obr. 27 Odhorievací kotol Viadrus Lignator [40]

Použité palivo do tohto kotla bude tvrdé drevo (buk, dub) s výhrevnosťou $Q_3 = 16 \text{ MJ/kg}$. Cena paliva je 0,10€ za 1 kg. [41]

3.1.4 Splyňovací kotol na drevo Attack SLX 20 Profi

Splyňovací kotol na drevo Attack SLX 20 Profi využíva vysokoúčinný rúrový výmenník spaliny – voda, s turbulátormi. Kotol je vyrobený z kotlovej ocele hrúbky 6 mm. Účinnosť kotla je až 91,8 %. Optimálny priebeh spaľovacieho procesu zabezpečuje elektronická regulácia a odťahový ventilátor. Odporúčané palivo je kusové drevo (mäkké aj tvrdé) s vlhkosťou max

20 %, o dĺžke polien max 650 mm. Kotel disponuje veľkou nakladacou komorou až 230 litrov, ktorá zabezpečí dlhšiu výdrž horenia na jedno naloženie paliva. Kotel spĺňa kritériá najvyššej emisnej normy triedy 5 podľa ČSN EN303-5. Tento typ kotla je vhodné skombinovať s akumulacnou nádržou. [42]



Obr. 28 Splyňovací kotel Attack SLX 20 Profi [42]

Výkon	$P_4 = 20 \text{ kW}$
Elek. príkon	$Pr_4 = 42 \text{ W}$
Účinnosť	$\eta_4 = 91,8 \%$
Spotreba paliva	$Sp_4 = 5,2 \text{ kg/hod}$
Cena kotla	2088 € [42]

Tab. 6 Charakteristika kotla Attack SLX 20 Profi.

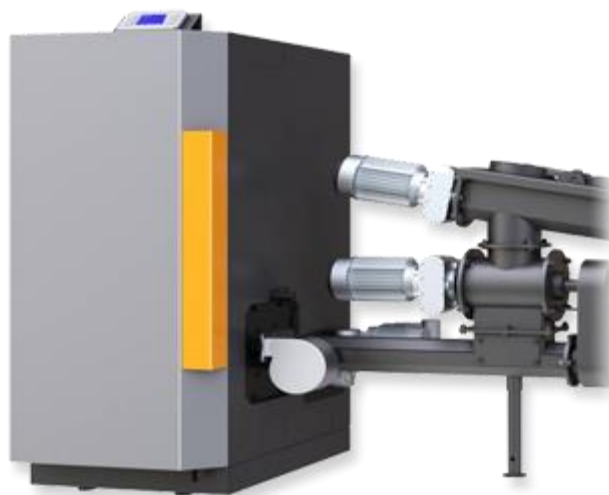
Použitie palivo do tohto kotla bude tvrdé drevo (buk, dub) s výhrevnosťou $Q_4 = 16 \text{ MJ/kg}$. Cena paliva je 0,10 € za 1 kg. [41]

3.1.5 Automatický kotel na štiepku Benekov S16

Automatický kotel Benekov S16 je certifikovaný pre spaľovanie drevných peliet, ale ako doplnkové palivo je možné použiť aj drevnú štiepku. Riadiaca jednotka kotla Siemens Climatix umožňuje plynulú moduláciu kotla v celom rozsahu výkonu od 6 do 20 kW, čím je možné dosiahnuť vysokú účinnosť, až 92,1 %. Kotel je vybavený lambda sondou, ktorá pomáha optimalizovať proces spaľovania a zaručuje dosiahnuť nízke emisie. Kotel je vhodné kombinovať s akumulacnou nádržou. Ku kotlu sa dodávajú rôzne veľkosti štandardizovaných zásobníkov paliva. Pri použití zásobníka 2700 litrov je doba horenia pri menovitom výkone až 520 hodín. [43]

Výkon	$P_5 = 20 \text{ kW}$
Elek. príkon kotol + podávač	$Pr_5 = 533 \text{ W}$
Účinnosť	$\eta_5 = 92,1 \%$
Spotreba paliva	$Sp_5 = 4,3 \text{ kg/hod}$
Cena: kotol + zásobník 2700l + podávač	5995 € [44]

Tab. 7 Charakteristika kotla Benekov S16



Obr. 29 Kotel Benekov S16 [45]

Použité palivo do tohto kotla bude drewná štiepka s frakciou od 20 do 40 mm, s výhrevnosťou v suchom stave $Q_5 = 14 \text{ MJ/kg}$. Cena paliva je 55 € za tonu štiepky. [46]

3.1.6 Automatický kotel na pelety Attack Pellet 30

Kotel ATTACK PELLET 30 s regulovaným výkonom 8 – 30 kW je určený na vykurovanie rodinných domov a priemyselných objektov. Základom kotla je vodou chladené kotlové teleso, ktorého zvarenec je zhotovený z plechov zo špeciálnej kotlovej ocele s hrúbkou 4 až 6 mm, čo zaručuje dlhú životnosť. Výmenník je rúrový, s turbulátormi, ktoré zlepšujú prenos tepla do vykurovacej vody a súčasne sú využívané na čistenie výmenníka. Účinnosť kotla dosahuje 90,6 %. Predpísané palivo sú drewné pelety s priemerom 6 až 10 mm, o dĺžke maximálne 35 mm. Kotel je možné dovybaviť šnekovým podávačom paliva a zásobníkom s objemom 450l. Kotel je vybavený nerezovým horákom, ktorý pracuje v plne automatickom režime. Rozsah výkonu horáku je 8 až 30kW, prednastavený je do troch stupňov 14, 22 alebo 30kW. [47]

Výkon	$P_6 = 22 \text{ kW}$
Elek. príkon kotol + podávač	$Pr_6 = 550 \text{ W}$
Účinnosť	$\eta_6 = 90,6 \%$
Spotreba paliva	$Sp_6 = 5,2 \text{ kg/hod}$
Cena kotol + zásobník + podávač	4391€ [47]

Tab. 8 Charakteristika kotla Attack Pellet 30.



Obr. 30 Kotel Attack Pellet 30 so zásobníkom [47]

Použitie palivo do tohto kotla budú drevné pelety, s výhrevnosťou v suchom stave $Q_6 = 17,8 \text{ MJ/kg}$. Cena paliva je 210 € za tonu peliet. [48]

3.2 Výpočet ekonomických nákladov vybraných kotlov

Kotle z porovnania budú jednotlivito použité k vykurovaniu modelového rodinného domu v okrese Poprad, v Slovenskej Republike. Vykurovacia sezóna v tejto oblasti činí 250 dní v roku, vonkajšia výpočtová teplota -16°C a priemerná teplota behom vykurovacej sezóny je $1,9^\circ\text{C}$. [49]

Modelový rodinný dom má tepelné straty $Q_s = 19 \text{ kW}$ a priemerná vnútorná teplota v rodinnom je 21°C . Potrebné teplo k vykurovaniu za 1 rok je možné stanoviť podľa výpočtu na stránke vytapani.tzb-info.cz [50] na $Q_{rok} = 179,6 \text{ GJ} = 49,9 \text{ MWh}$.

Cena elektrickej energie na rok 2016 sa pohybuje okolo $0,177 \text{ €/kWh}$. [51]

K výpočtu ekonomických nákladov na prevádzku kotla boli použité vzťahy [10]:

$$T_i = \frac{Q_{rok}}{P_i \cdot 3600}$$

$$E_i = P_{ri} \cdot 10^{-3} \cdot T_i$$

$$N_{ei} = E_i \cdot C_e$$

$$M_{pi} = \frac{Q_{rok}}{Q_i \cdot \eta_i}$$

$$N_{pi} = M_{pi} \cdot C_{pi}$$

$$N_{ci} = N_{ei} + N_{pi}$$

kde: T_i – prevádzková doba kotla [hod],
 Q_{rok} – ročná potreba tepla na vykurovanie [GJ/rok],

P_i – výkon kotla [kW],
 E_i – ročná spotreba elektrickej energie [kWh],
 P_{ri} – príkon kotla [W],
 N_{ei} – ročné náklady na elektrickú energiu [€],
 C_e – cena elektrickej energie za kWh [€/kWh],
 M_{pi} – hmotnosť paliva spotrebovaného za rok [kg],
 Q_i – výhrevnosť paliva [MJ/kg],
 η_i – účinnosť kotla [-],
 N_{pi} – ročné náklady na palivo [€],
 C_{pi} – cena paliva za kg [€/kg],
 N_{ci} – celkové ročné náklady na prevádzku kotla [€].

3.2.1 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Viadrus Hercules U26 ECO

Zadané hodnoty:

$P_1 = 22,5 \text{ kW}$
 $\eta_1 = 84,1 \%$
 $Q_1 = 28 \text{ MJ/kg}$
 $C_e = 0,177 \text{ €/kWh}$
 $C_{p1} = 0,23 \text{ €/kg}$

Výpočet:

- Prevádzková doba kotla:

$$T_1 = \frac{Q_{rok}}{P_1 \cdot 3600} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{22,5 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 2217,3 \text{ hod}$$
- Ročná spotreba elektrickej energie:

$$E_1 = P_{r1} \cdot 10^{-3} \cdot T_1 = 0 \cdot 10^{-3} \cdot 2217,3 = 0 \text{ kWh}$$
- Ročné náklady na elektrickú energiu:

$$N_{e1} = E_1 \cdot C_e = 0 \cdot 0,177 = 0 \text{ €}$$
- Ročná spotreba paliva:

$$M_{p1} = \frac{Q_{rok}}{Q_1 \cdot \eta_1} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{28 \cdot 10^6 \cdot 0,841} = 7627 \text{ kg}$$
- Ročné náklady za palivo:

$$N_{p1} = M_{p1} \cdot C_{p1} = 7627 \cdot 0,23 = 1754,2 \text{ €}$$
- Celkové ročné náklady na vykurovanie:

$$N_{c1} = N_{e1} + N_{p1} = 0 + 1754,2 = 1754,2 \text{ €}$$

3.2.2 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Elektromet EKO-KWPns

20

Zadané hodnoty:

$P_2 = 20 \text{ kW}$
 $P_{r2} = 170 \text{ W}$
 $\eta_2 = 86,3 \%$
 $Q_2 = 26 \text{ MJ/kg}$
 $C_e = 0,177 \text{ €/kWh}$
 $C_{p2} = 0,155 \text{ €/kg}$

Výpočet:

- Prevádzková doba kotla:

$$T_2 = \frac{Q_{rok}}{P_2 \cdot 3600} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{20 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 2494,4 \text{ hod}$$
- Ročná spotreba elektrickej energie:

$$E_2 = P_{r2} \cdot 10^{-3} \cdot T_2 = 170 \cdot 10^{-3} \cdot 2494,4 = 424 \text{ kWh}$$
- Ročné náklady na elektrickú energiu:

$$N_{e2} = E_2 \cdot C_e = 424 \cdot 0,177 = 75 \text{ €}$$
- Ročná spotreba paliva:

$$M_{p2} = \frac{Q_{rok}}{Q_2 \cdot \eta_2} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{26 \cdot 10^6 \cdot 0,863} = 8004,3 \text{ kg}$$
- Ročné náklady za palivo:

$$N_{p2} = M_{p2} \cdot C_{p2} = 8004,3 \cdot 0,155 = 1240,6 \text{ €}$$
- Celkové ročné náklady na vykurovanie:

$$N_{c2} = N_{e2} + N_{p2} = 75 + 1240,6 = 1315,6 \text{ €}$$

3.2.3 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Viadrus Lignator

Zadané hodnoty:

$$P_3 = 22,5 \text{ kW}$$

$$P_{r3} = 180 \text{ W}$$

$$\eta_3 = 89,4 \%$$

$$Q_3 = 16 \text{ MJ/kg}$$

$$C_e = 0,177 \text{ €/kWh}$$

$$C_{p3} = 0,10 \text{ €/kg}$$

Výpočet:

- Prevádzková doba kotla:

$$T_3 = \frac{Q_{rok}}{P_3 \cdot 3600} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{22,5 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 2217,3 \text{ hod}$$
- Ročná spotreba elektrickej energie:

$$E_3 = P_{r3} \cdot 10^{-3} \cdot T_3 = 180 \cdot 10^{-3} \cdot 2217,3 = 399,1 \text{ kWh}$$
- Ročné náklady na elektrickú energiu:

$$N_{e3} = E_3 \cdot C_e = 399,1 \cdot 0,177 = 70,6 \text{ €}$$
- Ročná spotreba paliva:

$$M_{p3} = \frac{Q_{rok}}{Q_3 \cdot \eta_3} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{16 \cdot 10^6 \cdot 0,894} = 12555,9 \text{ kg}$$
- Ročné náklady za palivo:

$$N_{p3} = M_{p3} \cdot C_{p3} = 12555,9 \cdot 0,10 = 1255,6 \text{ €}$$
- Celkové ročné náklady na vykurovanie:

$$N_{c3} = N_{e3} + N_{p3} = 70,6 + 1255,6 = 1326,2 \text{ €}$$

3.2.4 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Attack SLX 20 Profi

Zadané hodnoty:

$$P_4 = 20 \text{ kW}$$

$$Pr_4 = 42 \text{ W}$$

$$\eta_4 = 91,8 \%$$

$$Q_4 = 16 \text{ MJ/kg}$$

$$C_e = 0,177 \text{ €/kWh}$$

$$C_{p4} = 0,10 \text{ €/kg}$$

Výpočet:

- Prevádzková doba kotla:

$$T_4 = \frac{Q_{rok}}{P_4 \cdot 3600} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{20 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 2494,4 \text{ hod}$$
- Ročná spotreba elektrickej energie:

$$E_4 = Pr_4 \cdot 10^{-3} \cdot T_4 = 42 \cdot 10^{-3} \cdot 2494,4 = 104,8 \text{ kWh}$$
- Ročné náklady na elektrickú energiu:

$$N_{e4} = E_4 \cdot C_e = 104,8 \cdot 0,177 = 18,5 \text{ €}$$
- Ročná spotreba paliva:

$$M_{p4} = \frac{Q_{rok}}{Q_4 \cdot \eta_4} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{16 \cdot 10^6 \cdot 0,918} = 12227,7 \text{ kg}$$
- Ročné náklady za palivo:

$$N_{p4} = M_{p4} \cdot C_p = 12227,7 \cdot 0,10 = 1222,8 \text{ €}$$
- Celkové ročné náklady na vykurovanie:

$$N_{c4} = N_{e4} + N_{p4} = 18,5 + 1222,8 = 1241,3 \text{ €}$$

3.2.5 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Benekov S16

Zadané hodnoty:

$$P_5 = 20 \text{ kW}$$

$$Pr_5 = 533 \text{ W}$$

$$\eta_5 = 92,1 \%$$

$$Q_5 = 14 \text{ MJ/kg}$$

$$C_e = 0,177 \text{ €/kWh}$$

$$C_{p5} = 0,055 \text{ €/kg}$$

Výpočet:

- Prevádzková doba kotla:

$$T_5 = \frac{Q_{rok}}{P_5 \cdot 3600} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{20 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 2494,4 \text{ hod}$$
- Ročná spotreba elektrickej energie:

$$E_5 = Pr_5 \cdot 10^{-3} \cdot T_5 = 533 \cdot 10^{-3} \cdot 2494,4 = 1329,5 \text{ kWh}$$
- Ročné náklady na elektrickú energiu:

$$N_{e5} = E_5 \cdot C_e = 1329,5 \cdot 0,177 = 235 \text{ €}$$
- Ročná spotreba paliva:

$$M_{p5} = \frac{Q_{rok}}{Q_5 \cdot \eta_5} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{14 \cdot 10^6 \cdot 0,921} = 13929 \text{ kg}$$

- Ročné náklady za palivo:

$$N_{p5} = M_{p5} \cdot C_p = 13929 \cdot 0,055 = 766,1 \text{ €}$$
- Celkové ročné náklady na vykurovanie:

$$N_{c5} = N_{e5} + N_{p5} = 235 + 766,1 = 1001,1 \text{ €}$$

3.2.6 Celkové ročné náklady na prevádzku kotla Attack Pellet 30

Zadané hodnoty:

$$P_6 = 22 \text{ kW}$$

$$Pr_6 = 550 \text{ W}$$

$$\eta_6 = 90,6 \%$$

$$Q_6 = 17,8 \text{ MJ/kg}$$

$$C_e = 0,177 \text{ €/kWh}$$

$$C_{p6} = 0,21 \text{ €/kg}$$

Výpočet:

- Prevádzková doba kotla:

$$T_6 = \frac{Q_{rok}}{P_6 \cdot 3600} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{22 \cdot 10^3 \cdot 3600} = 2267,7 \text{ hod}$$
- Ročná spotreba elektrickej energie:

$$E_6 = P_{r6} \cdot 10^{-3} \cdot T_6 = 550 \cdot 10^{-3} \cdot 2267,7 = 1247,2 \text{ kWh}$$
- Ročné náklady na elektrickú energiu:

$$N_{e6} = E_6 \cdot C_e = 1247,2 \cdot 0,177 = 220,8 \text{ €}$$
- Ročná spotreba paliva:

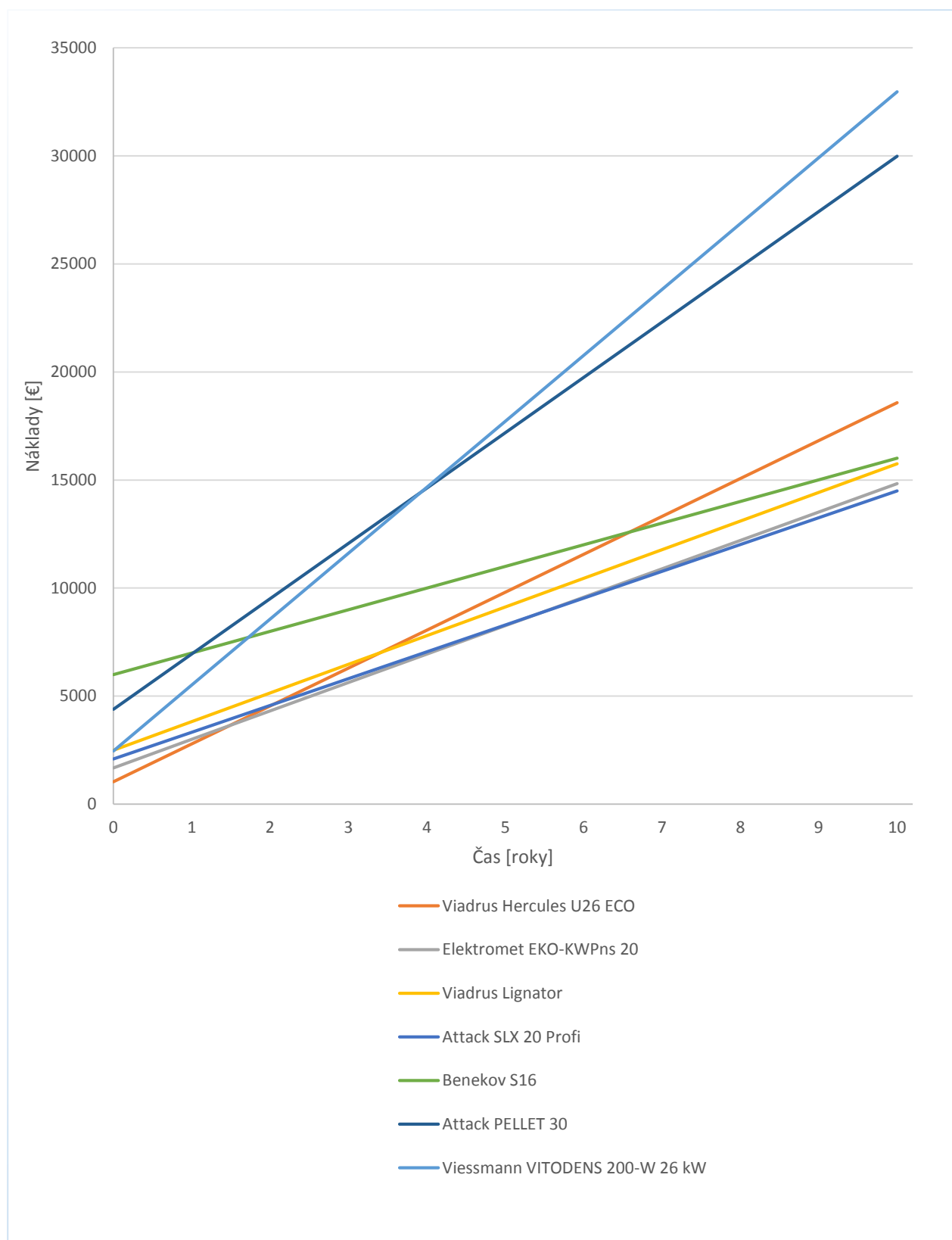
$$M_{p6} = \frac{Q_{rok}}{Q_6 \cdot \eta_6} = \frac{179,6 \cdot 10^9}{17,8 \cdot 10^6 \cdot 0,906} = 11136,7 \text{ kg}$$
- Ročné náklady za palivo:

$$N_{p6} = M_{p6} \cdot C_p = 11136,7 \cdot 0,21 = 2338,7 \text{ €}$$
- Celkové ročné náklady na vykurovanie:

$$N_{c6} = N_{e6} + N_{p6} = 220,8 + 2338,7 = 2559,5 \text{ €}$$

3.3 Grafické porovnanie ekonomických nákladov

Do grafického porovnania boli vložené počiatočné náklady spojené s nákupom jednotlivých kotlov. K týmto nákladom boli pripočítané prevádzkové náklady na palivo a prevádzku v horizonte 10 rokov. Pre informáciu bol do grafického porovnania zahrnutý aj kondenzačný kotol na zemný plyn Viessmann Vitodens.



Obr. 31 Grafické porovnanie nákladov vybraných kotlov

Z priloženého grafu vyplýva, že najnižšie počiatkové náklady má prehorievací kotol Viadrus Hercules U26 ECO, ale jeho prevádzkové náklady sú v časovom horizonte vyššie (18577 €), kvôli vyššej cene paliva – koksu. Najnižšie prevádzkové náklady (14501 €) v tomto horizonte má splyňovací kotol na drevo Attack SLX 20 Profi, vďaka nízkej cene paliva a dobrej účinnosti kotla. Podobné náklady (14837 €), má aj automatický kotol na uhlie Elektromet EKO-KWPns 20. Odhorievací kotol na drevo Viadrus Lignator vykazuje vyššie prevádzkové náklady (15757 €), ako automatický kotol na uhlie Elektromet. Automatický kotol na štiepku Benekov S16 má najvyššie počiatkové náklady (5995 €), avšak najnižšia cena paliva ho v časovom horizonte zvyhodňuje oproti ostatným kotlom (náklady na prevádzku za 10 rokov – 16606 €). Ak by bol vo výpočte zahrnutý dlhší časový interval, tento kotol by vykazoval najnižšie prevádzkové náklady. Automatický kotol na pelety Attack Pellet 30 má druhé najvyššie investičné náklady a v kombinácii s nepriaznivo vysokou cenou drevných peliet sa tento kotol ukázal ako najnákladnejší kotol na tuhé palivo v danom časovom horizonte (29986 €). Pre úplnosť a porovnanie je v grafe zahrnutý aj kondenzačný plynový kotol Viessmann, z ktorého je možné usúdiť, že prevádzka tohto kotla je mnohonásobne drahšia vďaka vysokej cene zemnému plynu (32969 €).

ZÁVER

Bakalárska práca mala 3 ciele. Prvý cieľ sa týkal problematiky tuhých palív vhodných na použitie do kotlov určených na vykurovanie rodinných domov. V tejto časti sú stručne popísané vlastnosti, ktoré musí palivo spĺňať a ich vplyvy na kvalitu paliva, prípadne výhrevnosť. Ďalej je uvedené stručné rozdelenie druhov tuhých palív, popis ich vzniku a výskytu.

Druhým cieľom práce bol popis technológií pre spaľovanie tuhých palív. Boli uvedené základné rozdelenia kotlov - podľa technológie spaľovania a podľa paliva. Pri rozdelení podľa technológie spaľovania sú vypísané zjavné výhody a nevýhody daných kotlov. Je vhodné poznamenať, že efektívnosť kotlov je zaručená len pri spaľovaní toho druhu paliva, na ktoré sú určené.

Posledný a najdôležitejší cieľ práce bolo ekonomické zhodnotenie nákupu a prevádzky vybraných technológií pre vykurovanie rodinných domov. Výber kotlov na tuhé palivá je urobený tak, aby zodpovedal súčasnej trhovej situácii. Do záverečného porovnania je zahrnutých 7 kotlov spaľujúcich rôzne typy paliva a s rôznou technológiou spaľovania. Porovnanie je v časovom horizonte 10 rokov, z ktorého je dostatočne zreteľné, ako budú narastať ekonomické náklady spojené s prevádzkou kotla a nákupom paliva. Porovnanie nepočíta s premennou cenou palív alebo možnými poruchami a následnými opravami kotla. Taktiež sa nedajú zaručiť pevné ceny elektrickej energie. Z priloženého grafu (obr. 31) vyplýva, že najnižšie počiatkové náklady má prehorievací kotol na koks. V časovom horizonte jeho náklady na prevádzku značne rastú, kvôli vyšším cenám paliva. Najnižšie prevádzkové náklady má splyňovací kotol na drevo, avšak pri časovom horizonte dlhšom ako 10 rokov, by najnižšie prevádzkové náklady vykazoval automatický kotol na štiepku aj napriek veľmi vysokej nákupnej cene. Automatický kotol na uhlie sa z pohľadu nákladov javí podobne ako splyňovací kotol na drevo. O niečo vyššie náklady voči automatickému kotlu na uhlie má odhorievací kotol na drevo. Dost' nevýhodne sa javí kotol na pelety, ktorý má vysoké počiatkové náklady a cena palív neefektívne navyšuje aj prevádzkové náklady. Plynový kondenzačný kotol je v porovnaní na ukážku, ako výrazne vplýva cena paliva na prevádzku kotla.

Z pohľadu komfortu nakladania paliva sú na tom najlepšie automatické kotle, ktoré majú zásobník na palivo a ich prevádzka je automaticky riadená. Nevýhodou týchto kotlov je vyššia nákupná cena, pretože k samotnému kotlu je nutné zainvestovať aj do zásobníka a dopravníka paliva. O niečo horšie sú na tom kotle s ručným prikladaním paliva, kde palivo treba prikladať niekoľko krát za deň. Proces spaľovania je menej vyvážený ako pri automatickom kotly, pretože prevádzka kotla je vyžaduje doplnenie paliva. Rozumnou investíciou je zakúpenie akumuláčnej nádrže k týmto kotlom, pretože kotol môže ísť na menovitý výkon a prebytočná energia sa ukladá do akumuláčnej nádrže. Znižuje sa tým spotreba paliva aj emisie, z dôvodu, že nie je nutné v prechodnom období vykurovacej sezóny kotol tak často spúšťať.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] LANDA, Stanislav. *Paliva a jejich použití: celostátní vysokoškolská učebnice*. 2., rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1956. Řada chemické literatury.
- [2] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [3] ROUBÍČEK, Václav. *Uhlí: zdroje, procesy, užití*. Ostrava: Montanex, 2002. Odborné publikace. ISBN 80-722-5063-9.
- [4] Měření vlhkosti paliv. *Biom.cz* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mereni-vlhkosti-paliv>
- [5] Výhřevnost paliv. *Ekobioenergo.cz* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://ekobioenergo.cz/5-obnovitelne-zdroje/28-vyhrevnost-paliv.html>
- [6] Prodej antracitu. *Shstream.cz* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://www.shstream.cz/antracit>
- [7] Antracit. *Geologie.vsb.cz* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/energysur/antracit.html>
- [8] Černé uhlí. *Cerneuhli.cz* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://www.cerneuhli.cz/>
- [9] Co je koks a jak vzniká. *Koksovny.cz* [online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://www.koksovny.cz/cz/uvodem-o-koksu>
- [10] JANDAČKA, Jozef a Milan MACHO. *Biomasa ako zdroj energie*. 1. vyd. Žilina: GEORG, 2007. ISBN 978-80-969161-4-6.
- [11] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [12] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: ERA, 2006. 21. století. ISBN 80-736-6071-7.
- [13] JANDAČKA, doc. Ing. Jozef a Ing. Marian MIKULÍK. *Technológie pre zvyšovanie energetického potenciálu biomasy*. Jozef Bulejčík, 2007.
- [14] Dřevná štíпка - prehľad kvality. *Etaenergy.eu* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://etaenergy.eu/zaujimave/78-drevna-stieпка-prehľad-kvality/>
- [15] Wood chipper. *Directindustry.com* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/dutch-dragon/product-57274-1195741.html>

- [16] Valcové brikety s dierou. *Edilkamin.ondrusek.sk* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.edilkamin.ondrusek.sk/sk/pelety-brikety>
- [17] Dřevěné pelety smrkové a borové. *Inwo.cz* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://inwo.cz/project/drevene-pelety-smrkove-a-borove/>
- [18] Organogénne usadené horniny. *Oskole.sk* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://www.oskole.sk/?id_cat=15&clanok=9854
- [19] Co je uhlí a jak vzniklo. *Topmax.eu* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.topmax.eu/vznik-uhli/>
- [20] Rašelina. *Geologie.vsb.cz* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/energsur/ra%C5%A1elina.html>
- [21] Oběh uhlíku v přírodě. *Biomasa-info.cz* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/ekouhlik.htm>
- [22] KOLONIČNÝ, Jan, Jiří HORÁK a Silvie PETRÁNKOVÁ ŠEVČÍKOVÁ. *Kotle malých výkonů na pevná paliva*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2542-7.
- [23] Biomasa jako zdroj energie. *Transformacni-technologie.cz* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/biomasa-jako-zdroj-energie.html>
- [24] VAN LOO, Sjaak. a Jaap. KOPPEJAN. *The handbook of biomass combustion and co-firing*. Sterling, VA: Earthscan, 2008. ISBN 18-440-7249-5.
- [25] Attack DP 25 Profi 10-25 kW. *Kurenje-plyn-solar.sk* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.kurenje-plyn-solar.sk/attack-dp-25-profi-10-25-kw-1>
- [26] NOSEK, R., JURKECHOVA, J., PAPUCIK, S., JANDAČKA, J.: Influence of fuel supply to in small capacity boiler on efficiency and pollutant emissions, *Experimental Fluid Mechanics* 2010, Liberec 2010, ISBN 978-80-7372-670-6
- [27] The T4 Biomass boiler. *Valeenergy.co.uk* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.valeenergy.co.uk/wood-chip.html>
- [28] Kotel na dřevní štěpku. *Biom.cz* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotel-na-drevni-stepku>
- [29] LYČKA, Zdeněk. *Malé teplovodní kotle na pevná paliva: spalování pevných paliv po roce 2013*. Krnov: LING Vydavatelství, 2012. ISBN 978-80-904914-2-7.
- [30] Kotle na hnede uhlie. *Aqua-art.sk* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.aqua-art.sk/kotle-na-hnede-uhlie/>

- [31] Eko komfort. *Ekokomfort.sk* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.ekokomfort.sk/eko-komfort-1/eko-komfort>
- [32] Kotel na slamu 190 kW. *Ekosolar.eshop-zdarma.cz* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.ekosolar.eshop-zdarma.cz/index.php?s=product&id=265>
- [33] Kotle na spaľovanie balíkov slamy. *Ekosolar.sk* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.ekosolar.sk/biomasa/kotly/slama/>
- [34] Compact 80. *Euroheat.co.uk* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.euroheat.co.uk/Wood-Pellets-Burning-Boiler/699/Compact-80.html>
- [35] Kotel na drevo. *Stavebnik.sk* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.stavebnik.sk/clanky/kotel-na-drevo-.html>
- [36] Akumuačná nádrž. *Drevoplyn.sk* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.drevoplyn.sk/akumulacne_nadrze.php
- [37] Viadrus HERCULES U26 ECO - 5 čl. *Topenilevne.cz* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/viadrus-hercules-u26-eco-5-cl-p38291/>
- [38] Predaj uhlia. *Uhlie.eu* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.uhlie.eu/predaj-uhlia/>
- [39] Kotel na uhlie Elektromet EKO-KWPns 20. *Elmettrade.cz* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://eshop.elmettrade.cz/automaticky-kotel-se-zasobnikom-na-uhli/269-eko-kwpns-12-automaticky-digitalni-kotel-na-uhli-.html>
- [40] Viadrus LIGNATOR 7 článkový. *Kotollacno.sk* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.kotollacno.sk/kurenie/eshop/1-1-Kotle-na-pevne-palivo/0/5/3020-Viadrus-LIGNATOR-7-clankovy>
- [41] Cena dreva. *drevo.prevas.biz* [online]. [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.drevo.prevas.biz/>
- [42] Attack SLX 20 Profi. *Attack-predaj.sk* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.attack-predaj.sk/attack-slx-20-profi/>
- [43] Benekov S16. *Benekov.com* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.benekov.com/files/documents/products/70/navod-benekov-s16-s26-s51-cz-2014-09.pdf>
- [44] Cenník Benekov. *Kotelnici.eu* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: http://www.kotelnici.eu/wp-content/uploads/2014/01/cen%C3%ADk-Benekov-Kotelnici.eu_20140101.pdf
- [45] Benekov S16. *Dumkotlu.cz* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://dumkotlu.cz/kotle-na-tuha-paliva/vykon-15-20kw/benekov-s-16/>

- [46] Cena štiepky. *Japonskytopol-prodej.cz* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.japonskytopol-prodej.cz/japonsky-topol/jak-se-da-zobchodovat-stepka-a-drevo-z-japonskeho-topolu/>
- [47] Attack Pellet 30 Automatic Plus. *Www.attack.sk* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.attack.sk/attack-pellet-30-automatic-plus/>
- [48] Cena peliet. *Ekoenergia.sk* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ekoenergia.sk/sk/produkt/22-pelety-klasik-a2-big-bag>
- [49] Vonkajšia výpočtová teplota. *Stavebnictvo.sk* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://stavebnictvo.sk/profiles/blogs/vonkajsia-vypoctova-teplota>
- [50] Potreba tepla pre vykurovanie a ohrev teplej vody. *Vytapeni.tzb-info.cz* [online]. [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody>
- [51] Cenník elektrickej energie. *Vse.sk* [online]. [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: www.vse.sk/wps/PA_Minnesota/content/nvse.A5610.A/doc/VSE_Cennik_elektriny_domacnosti_2016.pdf

ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV

Symbol	Popis	Jednotka
W^r	obsah vody v palive	[%]
A^r	obsah popoloviny v palive	[%]
h	obsah horľaviny v palive	[%]
m_1	hmotnosť vzorky surového paliva	[kg]
m_2	hmotnosť vzorky paliva po vysušení	[kg]
m_p	hmotnosť popola	[g]
m_d	hmotnosť suchej vzorky	[g]
Q_s	spalné teplo	[kJ/kg]
Q_i^r	výhrevnosť	[kJ/kg]
H_2	obsah vodíka v surovom palive	[-]
$Q_{i_n}^r$	výhrevnosť jednotlivého paliva	[kJ/kg]
m_n	hmotnostný podiel paliva	[kg]
P_i	výkon kotla	[kW]
T_i	prevádzková doba kotla	[hod]
Q_{rok}	ročná potreba tepla na vykurovanie	[GJ/rok]
E_i	ročná spotreba elektrickej energie	[kWh]
P_{ri}	príkon kotla	[W]
N_{ei}	ročné náklady na elektrickú energiu	[€]
C_e	cena elektrickej energie za kWh	[€/kWh]
M_{pi}	hmotnosť paliva spotrebovaného za rok	[kg]
Q_i	výhrevnosť paliva	[MJ/kg]
η_i	účinnosť kotla	[-]
N_{pi}	ročné náklady na palivo	[€]
C_{pi}	cena paliva za kg	[€/kg]
N_{ci}	celkové ročné náklady na prevádzku kotla	[€]